

计量中专试用教材

流量计量

苏彦勋 李金海 编



中国计量出版社

77.1.1
261

261

计量中专试用教材

流 量 计 量

苏彦勋 李金海 编

zk506/26



中国计量出版社

新登(京)字024号

内 容 提 要

本书系统地介绍了流量计量测试技术的理论基础、流量测量方法、误差理论以及数据处理规则；各种流量计的原理、结构、调整、安装、使用、维护和故障的排除方法；流量计量的基、标准量值传递系统；流量计量标准装置的分类、原理、结构、检定及准确度计算方法；检定流量计选取装置的原则；各类流量计的检定方法和具体的数据处理等。

本书可作为计量中专的专业课教材，也可作为有关的科研、计量、设计工程技术人员的参考书。

计量中专试用教材

流 量 计 量

苏彦勋 李金海 编

责任编辑 陈小林

◆

中国计量出版社出版

北京和平门内大街 1 号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

◆

开本 787×1092/16 印张 19.5 字数 474 千字

1991 年 10 月第 1 版 1991 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—7000

ISBN 7-5026-0451-0/TB·354

定价 9.80 元

出版前言

国家技术监督局是国务院统一管理和组织协调全国技术监督工作的职能部门。负责管理全国标准化、计量、质量监督工作，并对质量管理进行宏观指导。

随着技术监督事业的迅速发展，当前迫切需要大量的各级、各类计量专门人才。举办各种形式的计量中等教育，对于提高在职计量人员的素质、改善计量队伍的结构，培养一批计量队伍的新生力量，都具有重要意义，并将对计量事业的发展产生深远的影响。

近几年来，由于一批计量中专学校的创办，各种形式的计量中等教育如委托或联合办计量中专班、计量函授中专、计量职业高中、计量中专的专业证书培训等，也在各地陆续开展起来，但是缺少教材已成为计量中等教育迫切需要解决的重大问题。因此我们根据国家技术监督局的决定，组织编写了一套计量中专教材，其中包括：几何量、热工、力学、电磁学计量四个专业的部分专业基础课和专业课试用教材，争取在1988至1991年内出版齐。

本书是委托河北省标准计量中等专业学校组织编写的热工专业的专业课教材。

计量事业教育基础十分薄弱。组织编写行业性教材还是第一次，基本条件和经验都不足。因此，这套教材的编写工作是在时间紧、难度大的情况下进行的，虽然经过多方面努力，但仍然存在很多不足之处，甚至于错误。我们拟在试用过程中听取各方面意见，于适当时机再次组织修改。

另外，这套教材主要是根据三年制全脱产的计量中等专业教育的需要编写的。在目前情况下，要对各种形式的计量中等教育都编出相应的教材难以做到。因此，在编写过程中，也一定程度地考虑了适用的多样性。其他形式的计量中等教育可参考本套教材的基本内容，适当调整使用。

在教材的编写、审议过程中，得到了中国计量出版社、中国计量科学研究院、中国测试技术研究院、中国计量学院、中国计量测试学会，河北、四川、山东、吉林省标准计量局及有关的高等院校、省市计量部门、科研单位、大中型企业的大力支持，在此，谨表示衷心感谢！

国家技术监督局宣传教育司

1988.8

编者的话

本书是根据国家技术监督局宣教司制定的计量中等专业学校流量计量教学大纲编写的。

工业的发展对流体流量的测量提出了越来越高的要求，特别在注重能源节省、提高经济效益和产品质量的今天，流体流量测量的重要性更加突出。作为测量对象的各种流体介质，象水、蒸气、煤气、天然气、石油和石油产品等都是重要的能源。只有将其数量测量准确，才能做到“节能有数，耗能有据”，正确地进行经济核算，使生产过程建立在可靠的科学数据的基础上，使经济管理工作切实有效地进行。

本书是在立足于教学大纲的基础上，参考了国内外多种新型样机和大量资料，结合作者从事流量计量测试几十年经验以及计量、科研、工厂等使用单位在现场出现的实际问题综合分析写成的。本书内容包括流量计量测试技术的理论基础、流量测量方法、误差理论以及数据处理规则；各种流量计的原理、结构、调整、安装、使用、维护和故障的排除方法；流量计量的基、标准量值传递系统；流量计量标准装置的分类、原理、结构、检定及准确度计算方法；检定流量计选取装置的原则；各类流量计的检定方法和具体的数据处理等。因此，本教材具有较为全面和实用的特点，不仅可作为计量中专的教材，而且也可作为有关的科研、计量、设计工程技术人员的参考书。

本书由中国计量科学研究院苏彦勋高级工程师和河北省标准计量学校李金海讲师编，其中，第一章至第八章由李金海执笔编写；第九章至第十一章以及附录由苏彦勋执笔编写。最后，全书由苏彦勋负责统稿。

本书由清华大学自动化系张宝芬副教授主审，在函审过程中，开封仪表厂王自和高级工程师、华北电力学院何适生副教授、清华大学张宝芬副教授、天津大学徐岭安教授、上海工业自动化仪表研究所吴安意高级工程师提出了大量宝贵的指导意见；作者根据函审意见将书稿认真修改后，又请张宝芬、何适生副教授、北京市计量科学研究所钱旭风高级工程师、国家技术监督局宣教司教育处章学峰工程师等专家进行了会审；最后，书稿由国家技术监督局宣教司教育处安国处长和章学峰工程师审定。在此，我们一并表示衷心的感谢。

由于编者水平和时间所限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者 1990年7月

于北京

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 流量和流量计	(1)
第二节 流量计量的意义	(4)
第三节 流量计量的内容	(5)
第四节 流量计量的简史与前景展望	(6)
习题与思考题	(7)
第二章 流量计量基础知识	(8)
第一节 流量计量常用的物理参数	(8)
第二节 流体力学基本方程组	(15)
第三节 流量仪表的主要质量指标	(19)
习题与思考题	(20)
第三章 差压式流量计	(21)
第一节 概述	(21)
第二节 测量原理和基本方程式	(22)
第三节 标准节流装置	(26)
第四节 流量计算公式中有关参数的确定方法	(35)
第五节 标准节流装置流量测量误差	(43)
第六节 标准节流装置的计算	(47)
第七节 非标准节流装置	(61)
第八节 差压计	(65)
第九节 差压式流量计的示值修正	(79)
习题与思考题	(79)
第四章 浮子流量计	(81)
第一节 概述	(81)
第二节 测量原理和流量方程式	(81)
第三节 玻璃管浮子流量计	(84)
第四节 金属管浮子流量计	(86)
第五节 浮子流量计的安装、使用和维护	(91)
第六节 浮子流量计的刻度换算和粘度修正方法	(91)
习题与思考题	(94)
第五章 容积式流量计	(95)

第一节	容积式流量计的测量原理	(95)
第二节	椭圆齿轮流量计	(95)
第三节	腰轮流量计	(98)
第四节	其它形式的容积式流量计	(103)
第五节	容积式流量计的误差分析	(106)
第六节	容积式流量计的特性	(107)
第七节	容积式流量计安装、使用与维护	(108)
	习题与思考题	(110)
第六章	速度式流量计	(111)
第一节	涡轮流量计	(111)
第二节	水表	(125)
	习题与思考题	(130)
第七章	涡街流量计	(131)
第一节	涡街流量计的测量原理	(131)
第二节	旋涡频率的检测方法	(133)
第三节	涡街流量传感器的构成	(134)
第四节	涡街流量传感器的有关特性和参数	(137)
第五节	安装、使用与维护	(139)
	习题与思考题	(141)
第八章	其它流量测量方法	(142)
第一节	电磁流量计	(142)
第二节	超声流量计	(148)
第三节	靶式流量计	(152)
第四节	皮托管和均速管流量计	(158)
第五节	质量流量计	(160)
	习题与思考题	(166)
第九章	流量计量标准装置	(167)
第一节	流量标准装置概述	(167)
第二节	静态质量法液体流量标准装置	(170)
第三节	动态质量法液体流量标准装置	(174)
第四节	静态容积法液体流量标准装置	(177)
第五节	动态容积法液体流量标准装置	(182)
第六节	标准体积管法动态流量装置	(186)
第七节	水表检定装置	(190)
第八节	标准流量计法流量标准装置	(191)
第九节	气体流量标准装置的分类和传递系统	(194)
第十节	钟罩式气体流量标准装置	(195)
第十一节	p, V, T, t 法气体流量标准装置	(203)
第十二节	皂膜式气体流量标准装置	(207)

第十三节	活塞式气体流量标准装置	(209)
第十章	流量标准装置的检定及其准确度的计算方法	(212)
第一节	静态容积法流量标准装置的标定及其准确度计算方法	(212)
第二节	动态法液体流量标准装置标定及其准确度	(226)
第三节	标准体积管标定和准确度	(230)
第四节	水表装置的检定和准确度	(236)
第五节	钟罩式气体流量标准装置的检定和准确度	(239)
第六节	p, V, T, t 法气体流量标准装置标定和准确度	(247)
第七节	静态质量法流量标准装置的标定及其准确度	(251)
第十一章	流量计的检定方法	(255)
第一节	流量计检定概述	(255)
第二节	流量测量节流装置的检验和标定	(259)
第三节	涡轮流量传感器的检定和误差计算	(268)
第四节	玻璃转子流量计的标定和误差	(275)
第五节	容积式流量计的检定和误差	(279)
第六节	涡街流量传感器的检定和误差	(288)
第七节	水表的检定方法	(294)
附录		(298)
附录 1	工作量器温度修正公式	(298)
附录 2	流量测量节流装置流量系数 α 误差计算公式	(300)
附录 3	节流装置流量测量误差公式推导	(302)
参考文献		(304)

第一章 绪 论

第一节 流量和流量计

所谓流量，是指单位时间内流经封闭管道或明渠有效截面的流体量。又称瞬时流量。当流体量以体积表示时称为体积流量；当流体量以质量表示时称为质量流量。

假设流体流过有效截面中的某一微小面积为 dA ，流过该微小面积的流体流速为 v ，则流体流过该微小面积 dA 的体积流量 dq_v 和质量流量 dq_m 分别为

$$\begin{aligned}dq_v &= v dA \\dq_m &= \rho v dA\end{aligned}\quad (1-1)$$

式中， ρ 为被测流体的密度。

流体流过整个有效截面的体积流量 q_v 和质量流量 q_m 可对截面积积分求得：

$$\begin{aligned}q_v &= \int_A v dA \\q_m &= \int_A \rho v dA\end{aligned}\quad (1-2)$$

如果有效截面上各点的流速是相等的，或能求出其流速平均值，则流量公式 (1-2) 可写成如下简单形式：

$$\begin{aligned}q_v &= \bar{v} A \\q_m &= \rho \bar{v} A\end{aligned}\quad (1-3)$$

式中， \bar{v} 为平均流速。

在某一段时间内流体流过封闭管道或明渠有效截面的流体量称为累积流量或流体总量。累积流量可通过流量对时间的积分求得：

$$\begin{aligned}Q &= \int_t q_v dt \\M &= \int_t q_m dt\end{aligned}\quad (1-4)$$

式中 Q ——累积体积流量；

M ——累积质量流量；

t ——测量时间。

流量的计量单位是导出单位。国际单位制规定基本量长度、质量、时间的单位分别为米 (m)、千克 (kg)、秒 (s)。由流量公式 (1-3)、(1-4) 可导出体积流量的计量单位为米³/秒 (m³/s)；质量流量的计量单位为千克/秒 (kg/s)；累积体积流量的计量单位为米³ (m³)；累

表1-1 流量检测仪表

流量检测仪表类别		主要技						
		公称通径或管径 (mm)	可测流体种类	测量范围 (m ³ /h)	量程比	界限雷诺数或界限粘度 (10 ⁻⁶ m ² /s)	工作压力 (MPa)	
差压流量计	节流件	孔板	50~1000	液体 气体 蒸汽	1.5~9000 16~100000 —	3:1	>5×10 ³ ~ 8×10 ³	20.0
		喷嘴	50~500	液体 气体 蒸汽	5~2500 50~26000 —		>2×10 ⁴	20.0
		文丘利管	100~1200	液体 气体 蒸汽	30~18000 240~180000 —		>8×10 ⁴	2.5
浮子(转子)流量计	玻璃锥管	4~100	液体 气体	0.001~40 0.016~1000	5:1~10:1	>10 ⁴	1.0	
	金属锥管	15~150	液体 气体	0.012~100 0.40~3000		>10 ²	6.4	
容积式流量计	椭圆齿轮式	10~250	液体	0.05~500	10:1	<500	6.4	
	腰轮式	15~400	液体 气体	0.40~1000 —				
	旋转活塞式	15~50	液体	0.2~16				
	皮囊式	15~25	煤气	0.2~10			0.4	
速度式流量计	水表	15~400	水	0.045~2800	>10:1	1	1.0	
	涡轮式	4~500 10~50	液体 气体	0.04~6000 1.5~200	6:1~10:1	<20	6.4	
靶式流量计		15~200	液体 气体 蒸汽	0.8~100 — —	3:1	>2×10 ³	6.4	
电磁流量计		6~1200	导电液体	10~12500	>10:1	无一定限制	1.6	
漩涡流量计	旋进	50~150	气体	10~5000	10:1~30:1	>10 ⁴	1.6	
	涡列	圆柱	150~1000	气体			1~30(m/s)	6.4
		三角柱	50~200	液体 气体			2~800 30~3000	
冲量流量计		—	固体粉料	1~25(t/h)	5:1	—	常压	

注：(1)表中液体流量范围按20℃时的水计算列出。

(2)表中气体流量范围按20℃, 0.1MPa状态下的空气计算列出。

(3)节流件流量范围和压力损失。液体按压差25000Pa、直径比0.5计算列出。气体按差压

(4)表中工作压力和工作温度系基型品种的最高耐压和耐温。

(5)旋进漩涡流量计的压力损失计算公式中， ρ —流体密度； g —重力加速度， v —收缩断面

(6)蒸汽流量范围按工作状态时压力，温度计算而得。

的主要技术参数

术 参 数								
工作温度 (°C)	压力损失 (MPa)	准确度 (%)	安装与配套要求	体 积	重 量	成 本	使用 寿命	输出量
500	$<2 \times 10^{-2}$	$\pm 1 \sim \pm 2$	仪表前后要求一定长度的直管段	小	轻	低	中	模拟量
				中	中	较低	长	模拟量
				大	重	中	长	模拟量
120	$1 \times 10^{-4} \sim 7 \times 10^{-3}$	$\pm 1 \sim \pm 4$	必须垂直安装	小	轻	低	中	直接指示
200	$3 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$	± 2		中	中	中	长	模拟量
120	$<2 \times 10^{-2}$	$\pm 0.2 \sim \pm 0.5$	仪表前必须安装过滤器、消气器	大	重	中	中	就地积算定值发讯模拟量或数字量
		$\pm 0.5 \sim \pm 1$		大	重	较高		
				中	中	较低		
40	$<1.3 \times 10^{-4}$	± 2	无特殊要求	小	轻	低	长	就地积算
100	$<2 \times 10^{-2}$	± 2	水平安装	中	中	较低	中	就地积算
120	$<2.5 \times 10^{-2}$	$\pm 0.5 \sim \pm 1$	水平安装, 仪表前后要求一定长度的直管段, 必要时, 仪表前应加装整流器、过滤器和消气器	小	轻	中	中	模拟量或数字量
200	$<2.5 \times 10^{-2}$	$\pm 1 \sim \pm 4$	仪表前后要求一定长度的直管段	中	中	较低	长	模拟量
100	较小	$\pm 1 \sim \pm 1.5$	仪表前后直管段长度要求不高	大	重	较高	长	模拟量
60	$\leq \frac{v^2 \rho}{2g}$	± 1	仪表前后要求一定长度的直管段	中	中	中	长	模拟量或数字量
150	$2.4 \frac{v^2 \rho}{2g}$		安装位置不得倾斜, 仪表前后要求一定长度直管段, 仪表前需装整流器	小	轻			
100			中	中				
60			—	水平安装, 备有整流装置	小			

1600 Pa、直径比 0.5 计算列出。

处流速; 圆柱或三角柱涡列流量计的压力损失计算公式中, ρ — 流体密度; g — 重力加速度; v — 管道流速。

积质量流量的计量单位为千克 (kg)。

除上述流量计量单位外, 工程上还使用米³/小时 (m³/h)、升/分 (L/min)、吨/小时 (t/h)、升 (L)、吨 (t) 作为流量计量单位。

这里需要说明一点, 流量是一个动态量, 只有流体在封闭管道或明渠中流动时, 它才有意义。

在工业生产中, 瞬时流量是涉及流体介质的工艺流程中需要控制和调节的重要参量, 用以保持均衡稳定的生产和保证产品质量。累积流量则是有关流体介质的贸易、分配、交接、供应等商业性活动中必知的参数之一, 它是计价、结算、收费的基础。

用于测量流量的计量器具称为流量计。流量计可分为专门测量流体瞬时流量的瞬时流量计, 专门测量流体累积流量的累积式流量计。随着流量测量仪表及测量技术的发展, 大多数流量计都同时具备测量流体瞬时流量和积算流体总量的功能。因此, 习惯上又把瞬时流量计和累积式流量计统称为流量计。

流量计的种类很多, 分类方法也不尽相同。通常是以工作原理来划分流量计的类别。在相同的原理下的各种流量计, 则以其结构上的不同, 主要是测量机构上的不同来命名。按这样的分类方法可将流量计大致分为差压式流量计、浮子式流量计、容积式流量计、速度式流量计、动量式流量计和其它形式流量计六大类。更详细的分类及各种形式流量计的主要技术参数如表 1-1。

第二节 流量计量的意义

计量是工业生产的眼睛。流量计量是计量科学技术的组成部分之一, 它与国民经济、国防建设、科学研究有密切的关系。做好这一工作, 对于保证产品质量、提高生产效率、促进科学技术的发展都具有重要的作用。特别是在能源危机、工业生产自动化程度愈来愈高的当代, 流量计在国民经济中的地位与作用更加明显。

1. 流量计量应用范围广泛

流量计量广泛应用于工农业生产、国防建设、科学研究对外贸易以及人民生活各个领域之中。

在石油工业生产中, 从石油的开采、运输、炼冶加工直至贸易销售, 流量计量贯穿于全过程中, 任何一个环节都离不开流量计量。否则将无法保证石油工业的正常生产和贸易交往。在化工行业, 流量计量不准确会造成化学成分分配比失调, 无法保证产品质量, 严重的还会发生生产安全事故。在电力工业生产中, 对液体、气体、蒸汽等介质流量的测量和调节占有重要地位。流量计量的准确与否不仅对保证发电厂在最佳参数下运行具有很大的经济意义, 而且随着高温高压大容量机组的发展, 流量测量已成为保证发电厂安全运行的重要环节。如大容量锅炉瞬时给水流量中断或减少, 都可能造成严重的干锅或爆管事故。这就要求流量测量装置不但应做到准确计量, 而且要及时地发出报警信号。在钢铁工业生产中, 炼钢过程中循环水和氧气 (或空气) 的流量测量是保证产品质量的重要参数之一。在轻工业、食品、纺织等行业中, 也都离不开流量计量。

在农业上, 诸如农田水利、气象风速, 甚至有些农业机械, 象机动喷雾机、水泵的特性测试, 同样需要流量计量。

在国防建设上，随着空间技术的发展，对流量计量提出了相当高的要求。如宇宙飞船、核潜艇的核动力控制，离不开流量仪表；火箭发动机试车一次消耗大量的液化燃料，如果流量不准，不仅经济损失巨大，而且射程也会偏离几千公里；防化装备也少不了流量仪表；有些军事工程甚至配用上千台流量计。

科学研究、对外贸易方面，流量计量同样占有重要的地位和作用。与人们日常生活密切相关的自来水、煤气、天然气、油等都大量的应用流量仪表计量。

2. 流量计量是工业生产过程和科学实验的重要参数

流量与温度、压力、物位一样，是一般热化工生产过程中的重要参数。人们依靠这些参数对生产流程进行监督和控制，并实现生产流程的自动化。这对提高产品的质量与产量，保障生产安全，改进操作工艺，改善生产条件及科学实验等方面有着重要意义。同时，流量计量是企业经济核算的重要依据，流量计量准确可靠是保证企业生产高效率进行，保证最佳经济效益的重要手段之一。

3. 流量计量是能源计量的重要组成部分

能源是发展国民经济的重要物质基础。当前能源问题已成为我国国民经济中的一个突出问题。节约能源，已被中央确定为一项重要方针。要搞好节能工作。首先必须对能源进行科学管理，能源的计量测试工作就是对能源进行科学的管理的一项重要技术基础工作。这一工作如果做得不好，节能的效果就难以确定。在生产中的水、油、气及其它流体介质，均属流量测量范畴。做好这一工作，对于节能工作具有重要意义。我国不仅是一个大量的能源消耗国，而且能源利用率也很低，比发达国家约低20%左右，所以我国节能的潜力是很大。如果能源利用率提高1%，其经济效益将是非常可观的。在节能工作中，计量仪表是基础，流量计量将起到极为重要作用。

第三节 流量计量的内容

由于流量是一个动态量，流量测量是一项复杂的技术。从被测流体来说，包括气体、液体和混合流体这三种具有不同物理特性的流体；从测量流体流量时的条件来说，又是多种多样的，如测量时的温度可以从高温到极低温；测量时的压力可以从高压到低压；被测流量的大小可以从微小流量到大流量；被测流体的流动状态可以是层流、紊流等等。此外就液体而言，还存在粘度大小不同等情况。因此，为准确的测量流量，就必须研究不同流体在不同条件下的流量测量方法，并提供相应的测量仪表。这是流量计量的主要工作内容之一。

由于被测流体的特性如此复杂，测量条件又各不相同，从而产生了各种不同的测量方法和测量仪表。显然，如果没有一个统一的检定流量测量仪表准确度的方法，那么要保证大规模生产的工艺要求，要保证贸易的平等互换是不可能的。此外，还必须有一套流量单位复现方法，及检定系统对使用中流量仪表传递的标准方法。流量计量学的另一主要内容就是：研究流量单位的复现方法和检定系统，建立流量计量的基、标准装置，以保证量值传递和流量测量的准确度。

流量计在出厂或使用之前，必须对其计量性能进行测试或检定，以保证产品质量和使用

的准确度。为此，就必须建立复现流量单位量值的标准装置。所谓流量标准装置是指能够提供确定准确度流量值的测量设备。至于各种流量标准装置的结构、原理、技术要求和检定方法，将在本书的有关章节中详细讲述。

第四节 流量计量的简史与前景展望

自古以来，流量测量都是人类文明的一种标志。埃及人用尼罗河流量计来预报年成的好坏。古罗马人修渠引水，采用孔板测量流量。但是，由于经济生产落后，直到本世纪50年代，工业中使用的主要流量计只有孔板、皮托管、浮子流量计三种。被测介质的范围也较窄，测量准确度也只满足低水平的生产需要。第二次世界大战后，随着国际经济和科学技术的迅速发展，流量计量日益受到重视，流量仪表随之迅速发展起来。为满足不同类型流体特性，不同流动状态下的流量计量问题，近30年来，先后研制出并投入使用的流量计有速度式流量计、容积流量计、动量式流量计，电磁流量计、超声波流量计等几十种新型流量计。目前国外投入使用的流量计有100多种，国内定型投产的也有近20种。随着工业生产的自动化，管道化的发展，流量仪表在整个仪表生产中所占比重越来越大。据国内外资料表明，在不同的工业部门中所使用的流量仪表占整个仪表总数的15~30%。随着流量仪表的迅猛发展，流量标准装置也得到较快发展，流量量值传递网络已经形成。目前水、油、气、蒸汽高精度的流量标准装置已在国家、省市计量机构建立，确保其流量量值传递的准确一致。

尽管如此，由于流量测量技术的复杂化，以及科学技术的迅速发展向流量计量提出更高的要求，流量计量的现况远不能满足生产的需要，还有大量的流量计量技术问题有待进一步研究解决。目前主要存在如下问题。

1. 流量仪表的品种、规格、准确度和可靠性尚不能满足生产要求。特别对腐蚀性流体、脏污流体、高粘性流体、多相流体，特大流量、微小流量等，有待发展有效的测量手段。

2. 流量标准装置不能满足流量计检定要求，尤其是现场实液检定流量计的标准装置，是在我国目前情况下急待解决的问题。

3. 流量计量技术水平有待进一步提高。

4. 流量仪表的配备差距很大，直接影响工业成本核算与经济管理。

上述问题的存在直接影响流量计量的发展，已引起各国重视，都在探讨其解决方法。目前流量计量的发展动向可综述为以下几个方面。

1. 采用新技术、研制新型流量计。随着科学技术的发展，超声波、激光、电磁、核技术及微计算机等新技术引入流量计量领域，使得无接触，无活动部件间接技术大大发展，流量传感器趋向电子化和数字化，为流量计量开拓新的领域。新型流量计要求非接触式流量数字模型简明；量程比宽、线性化、数字化；可靠性高，价格低廉，维修方便。

2. 开发特殊流量测量研究，如大流量、高粘性流体、极低温流、多相流、高压及低压气体流量测量等。

3. 在线实液检定流量计的标准装置的研究。流量计的检定目前大多采用离线检定法。使用该方法检定的流量计虽经误差修正，但因其检定条件与流量计使用条件相差甚大，造成附加的使用误差，降低测量准确度。在线实液标定法是解决这一问题的根本方法。在线实液

标定法的主要问题是标准装置的合理设计。目前移动式标准装置和标准流量计是人们比较重视的标准装置。但距实用还有一定距离。

随着科学技术的飞速发展，在广大流量计量科学工作者的艰苦努力下，相信在今后不长的时期内，流量计量技术将会提高到一个新的水平。

习题与思考题

1. 解释流量的概念。
2. 流量的单位有哪些？
3. 流量计量的内容包括哪几方面？
4. 流量计通常可分为哪几种类型？
5. 流量计量的意义有哪些？
6. 有一测量气体的管道，其内径为 0.1 m ，测得管道横截面上的气体平均流速 $v = 8\text{ m/s}$ ，又知工作状态下的气体密度 $\rho = 13\text{ kg/m}^3$ 。试求气体流过测量管道内体积流量和质量流量。

第二章 流量计量基础知识

第一节 流量计量常用的物理参数

在流量计量中，经常要遇到一系列反映流体属性和流体状态的物理参数，诸如流体的密度、粘度、压力、绝热指数和雷诺数、理想流体、可压缩流体和不可压缩流体、层流紊流多相流、气体焓熵等，了解这些物理参数，对流量计量工作是必不可少的。

1. 流体的密度

单位体积的流体所具有的质量称为流体密度，或者说流体密度等于其质量与体积之比，用数学表达式表示为

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2-1)$$

式中 ρ ——流体密度；

M ——流体质量；

V ——流体体积。

流体密度的单位属于导出单位。国际单位制 (SI) 中，质量的单位为千克 (kg)，体积单位为米³ (m³)，故流体密度的单位是千克/米³ (kg/m³)。另外常用单位还有克/厘米³ (g/cm³)，它们之间的换算关系为

$$1 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

流体密度是流体的一个重要属性。流体质量不随外界条件变化而变化，但流体体积与温度、压力密切相关。因此，流体密度是温度和压力的函数。当我们进行流量计量时，若流量计超出工作使用条件，就要对其测量值进行适当的修正。

流体密度通常由密度计测定，某些流体的密度可查表。

2. 流体粘度

当我们观察河渠中的水流时，可以看到河中央的水流速最快，越靠近岸边的水流得越慢。同样，当流体在管道中流动时，管道中心的流速最快，越靠近管壁处的流速越慢。这是由于流体流动时，在流体内部产生内摩擦的缘故。流体内摩擦作用可由下面两个实验看出。

(1) 在相互平行且距离 l 较小的两平行板中间充满液体，下板固定，施一恒定力 F 于上板，使其平行于下板匀速运动。经过一段时间间隔，观察发现，介于两板间的液体由静止状态开始变为运动状态，附着于上板的液体与上板同样速度运动；附着于下板的液体静止不动，即速度为 0；中间的液体越靠近上板速度越快，越靠近下板速度越慢。运动由上层逐渐向下传递，形成如图 2-1 所示的分布。

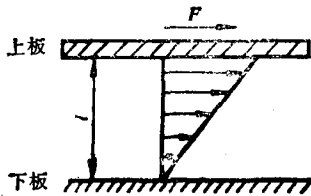


图 2-1 液体粘度试验示意图

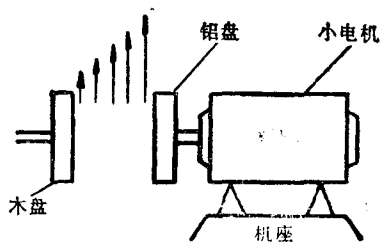


图 2-2 气体粘度试验示意图

(2) 电机轴上装有一铝盘，在距离适当处装一木盘。当可调速的小电机电源电压较小时，装在电机轴上的小铝盘开始转动，同时铝盘和木盘中间的空气被带动而运动。当电源电压增大到某一值时，处于静止状态和铝盘没接触的木盘开始转动，但速度比铝盘低得多。继续增大电源电压，铝盘和木盘速度也增大，但木盘转速始终比铝盘慢，其速度分布如图 2-2 所示。

由以上实验可知：一切流体流动时内部各层的速度是不同的，在相邻层的接触面上存在着一对等值反向的力，速度较快的流层带动速度较慢的流层，使之加快速度，速度较慢层阻滞较快层减速，这种阻滞力称为内摩擦力，流体间的相互作用称为流体内摩擦。

牛顿对实验 (1) 研究，给出了著名的牛顿内摩擦定律：流体流动过程中流层间单位面积上的内摩擦力的大小与接触面法线方向的速度梯度成正比，与流体粘性有关，而与接触面上的压力无关，其数学表达式为

$$\tau = \mu \frac{dv}{dn} \quad (2-2)$$

式中 τ ——切应力， $\tau = F/S$ ， F 为内摩擦力， S 为接触面积；

$\frac{dv}{dn}$ ——沿接触面法线方向上的速度梯度；

μ ——粘度系数，也称粘度或动力粘度。

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dn}}$$

粘度是内摩擦的量度，是流体反抗形变的能力。各类流体的粘度不一，它是流体的特性，仅在流体形变时才表现出来。

除了动力粘度外，在实际应用中还常使用运动粘度这个量；运动粘度是动力粘度与同温度下流体密度之比，用符号 ν 表示。即

$$\nu = \mu / \rho \quad (2-3)$$

在国际单位制中，动力粘度单位为牛顿·秒/米²，即帕斯卡·秒 (Pa·s)；运动粘度 ν 的单位是米²/秒 (m²/s)。另外，动力粘度单位还曾经使用“达因秒/厘米²”。1 达因秒/厘米² = 1 泊 (P) = 100 厘泊 (cP)；运动粘度单位曾经使用过“厘米²/秒”。1 厘米²/秒 = 1 斯 (St) = 100 厘斯 (cSt)。它们之间的换算关系为

$$1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10 \text{ P} = 1000 \text{ cP}$$